

⑤

Int. Cl.: G 01 p, 3/64

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



⑤

Deutsche Kl.: 42 o, 13/10

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

⑮

⑯

# Patentschrift 2 133 942

Aktenzeichen: P 21 33 942.4-52

Anmeldetag: 2. Juli 1971

Offenlegungstag: 18. Januar 1973

Auslegungstag: 10. Mai 1973

Ausgabetag: 29. November 1973

Patentschrift stimmt mit der Auslegeschrift überein

Ausstellungspriorität: —

⑳

Unionspriorität

㉑

Datum: —

㉒

Land: —

㉓

Aktenzeichen: —

㉔

Bezeichnung: Anordnung zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit eines Objektes

㉕

Zusatz zu: —

㉖

Ausscheidung aus: —

㉗

Patentiert für: Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 6000 Frankfurt

Vertreter gem. § 16 PatG: —

㉘

Als Erfinder benannt: Mesch, Franz, Prof. Dr.-Ing., 7501 Hohenwettersbach;  
Fritsche, Rainer, Dipl.-Ing., 7500 Karlsruhe

㉙

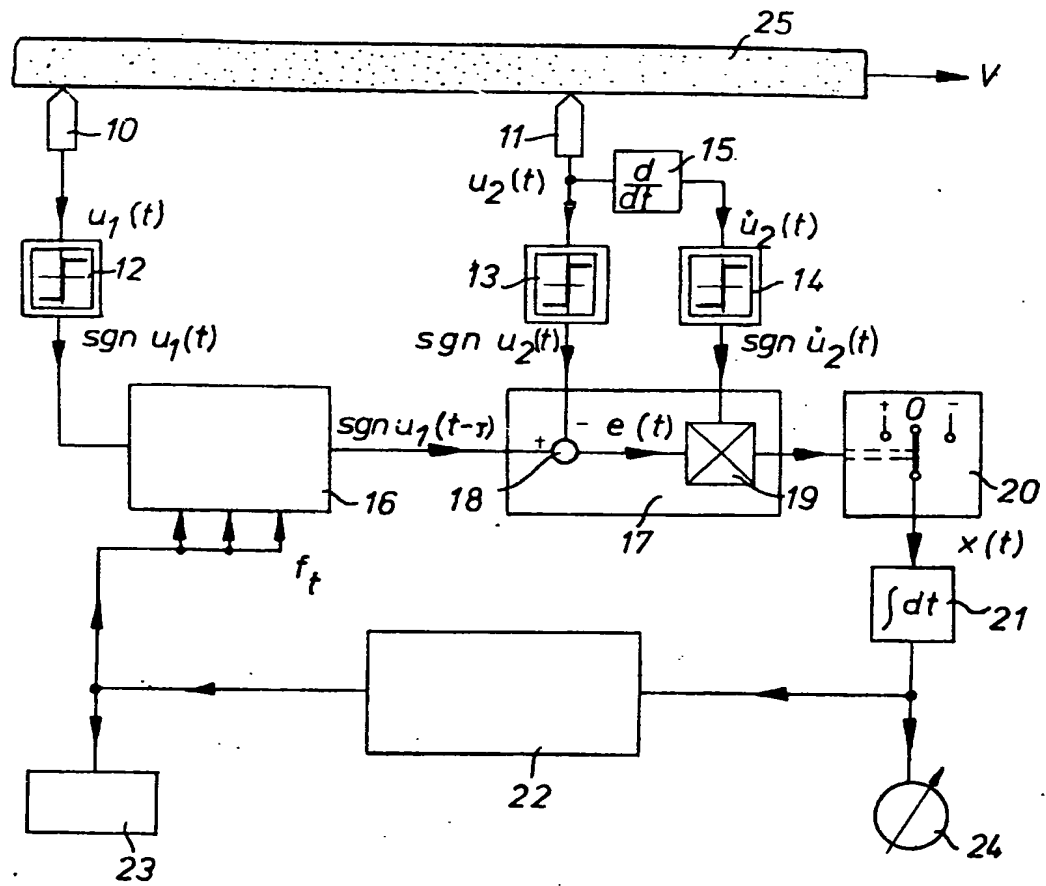
Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DT-AS 1 067 246

CH-PS 503 998

GB-PS 964 581

Elektronik, 1971, Heft 3, S. 93 bis 96



## Patentansprüche:

1. Anordnung zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit eines Objektes mittels zweier in Bewegungsrichtung des Objektes hintereinander angeordneter Meßfühler, die der physikalischen Struktur des Objektes entsprechende, um die Laufzeit  $T$  gegeneinander verschobene, nicht determinierte Signale erzeugen und das Signal des ersten Meßfühlers nach dem Korrelationsprinzip in einer den Fühlern nachgeschalteten Auswert-einrichtung durch ein Verzögerungsglied selbst-tätig ebenfalls um eine Modell-Laufzeit  $\tau$ , die der Geschwindigkeit des Objektes umgekehrt propor-tional ist, so lange verzögert wird, bis die mittlere quadratische Abweichung beider Signale bei  $\tau=T$  ein Minimum ist, dadurch gekenn-zeichnet, daß eines der zu vergleichenden Signale ( $u_1(t)$ ) über einen Begrenzer (12) und dem Verzögerungsglied (16) dem ersten Eingang eines Multiplikationsgliedes (19) zugeführt wird, daß das zweite der zu vergleichenden Signale ( $u_2(t) = u_1(t-T)$ ) über ein Differentiationsglied (15) mit nachfolgendem Begrenzer (14) dem zweiten Eingang des Multiplikationsgliedes (19) zugeführt wird und daß von dem Multiplikationsglied (19) gebildete Produkt der Signale an seinen beiden Eingängen einem Integralregler (Dreipunktregler (20) mit nachgeschaltetem Integrationsglied (21) zugeführt wird, wobei das Ausgangssignal des In-tegrationsgliedes zur Verstellung der Laufzeit  $\tau$  des Verzögerungsgliedes (16) dient.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite der zu vergleichenden Signale ( $u_2(t)$ ) zusätzlich über einen weiteren Begrenzer (13) einem Subtraktionsglied (18) zugeführt wird, das zwischen dem Verzögerungs-glied (16) und dem ersten Eingang des Multipli-kationsgliedes (19) angeordnet ist, und daß in dem Subtraktionsglied die Differenz der Ausgangssi-gnale des Verzögerungsgliedes und des weiteren Begrenzers (13) gebildet und auf den ersten Ein-gang des Multiplikationsgliedes gegeben wird.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Begrenzer (12, 13) aus Zweipunktgliedern bestehen, die  $u_1(t)$  in  $\text{sgn } u_1(t)$  und  $u_2(t)$  in  $\text{sgn } u_2(t)$  umformen.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein an sich bekannter getrenn-ter Grobregelkreis vorgesehen ist, in dem eine Anfangsbedingung gebildet wird, die dem Inte-gralregler zur Vermeidung einer Einstellung auf falsche Extrema der Korrelationsfunktion vorge-gben wird.

5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Grobregelkreis von den Signalen des ersten sowie eines weiteren Meßfüh-lers, der in geringem Abstand hinter dem ersten Meßfühler angeordnet ist, gesteuert wird.

6. Anordnung nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Subtraktions- und Multiplikationsoperationen durch elektroni-sche logische Schaltungen (17, 18, 19), deren Ausgangssignale den Integralregler (20, 21) be-aufschlagen, realisiert werden und der Integral-regler in an sich bekannter Weise über einen Spannungsfrequenzwandler (22) mit dem Verzö-

gerungsglied (16), und zwar mit den Takteingän-gen eines in bekannter Weise als Laufzeitverzö-gerungsglied wirkenden Schieberegler (16) ver-bunden ist, dessen Informationseingang von dem Ausgangssignal des ersten Meßfühlers (10) ge-speist wird.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch ge-kennzeichnet, daß ein digitaler Zähler (23) an den Ausgang des Spannungsfrequenzwandlers (22) zur Anzeige der veränderlichen Schiebetaktfre-quenz ( $f_s$ ) proportionalen Geschwindigkeit des Objektes (25) angeschaltet ist.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch ge-kennzeichnet, daß durch eine am Zähler (23) an-geordnete Umschalteneinrichtung durch Integra-tion des Zählergebnisses ein der Länge des Objektes entsprechender Meßwert gewonnen wird.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit eines Objektes. Bei der Geschwindigkeitsmessung laufender Bänder aus Blech oder Papier, von Knüppeln, Drähten oder anderem Walzgut besteht häufig der Wunsch, die üblichen Laufrollen durch ein berührungsloses Meßverfahren zu ersetzen. Der Grund dafür liegt entweder bei Warmwalzwerken in der hohen Eigentemperatur des Walzgutes, oder wie bei Papier und Feinblech in der Empfindlichkeit der Oberflächen; oft stört auch der Meßfehler infolge des Schlupfes von Laufrollen, wenn aus den Geschwindigkeiten vor und hinter dem Walzgerüst die Streckung oder wenn durch Integration die Länge des Walzgutes gemessen werden soll.

Die Geschwindigkeit laufender Bänder aus Blech oder Papier läßt sich prinzipiell dadurch bestimmen, daß die Laufzeit  $T$  des betreffenden Mediums zwischen zwei festen Punkten gemessen wird. Bei bekannten Abstand  $l$  zwischen diesen Punkten ist die Geschwindigkeit  $V = \frac{l}{T}$ . Laufzeit-Messungen sind weit verbreitet, sofern determinierte periodische oder impulsförmige Signale zur Verfügung stehen. Bei verschiedenen Anwendungen tritt aber der Wunsch auf, nichtdeterminierte Signale zu benutzen, die völlig regellos statistisch schwanken. Bei laufenden Bändern erhält man solche Signale z. B. durch optische Abtastung der Oberfläche, deren Rauigkeit statistische Schwankungen erzeugt. In diesen Fällen ist die Laufzeit aus den von zwei geeigneten Meßfühlern aufgenommen statistisch schwankenden Signalen durch das Korrelationsverfahren zu bestimmen.

Dieses Meßverfahren läßt sich auf technisch sehr verschiedenartigen Gebieten anwenden. Vorgeschlagen wurde es für die berührungslose Geschwindigkeitsmessung mit optischer Abtastung an Blechbändern in Walzwerken. Des weiteren hat es bei der Geschwindigkeitsmessung von Flugzeugen über Grund mit Radarsignalen sowie zur akustischen Abstandsmessung beim Empfang von Schall- und Funksignalen zur Ortung, zum gerichteten Empfang u. dgl. Anwendung gefunden.

Der Grundgedanke des Korrelationsverfahrens ist folgender: Zwei in Bewegungsrichtung hintereinan-

der angeordnete Meßfühler erzeugen die Signale  $u_1(t)$  und  $u_2(t)$ . Im Idealfall sind beide Signale von identischer Form und nur um die Laufzeit  $T$  gegeneinander verschoben:

$$u_2(t) = u_1(t - T).$$

Das Meßverfahren beruht nun darauf, daß das Signal  $u_1(t)$  des ersten Meßfühlers künstlich ebenfalls verzögert wird, und zwar um eine Modell-Laufzeit  $\tau$ , die der Korrelationsrechner auf  $\tau = T$  einstellen muß. Der Vergleich beider Laufzeiten wird über den Vergleich der beiden verzögerten Signale  $u_2(t) = u_1(t - T)$  durchgeführt. Allgemein ausgedrückt muß der Korrelationsrechner die mittlere quadratische Abweichung beider Signale zum Minimum machen. Das heißt also, daß von der Korrelationsfunktion  $\phi u_1 u_2(\tau)$  der beiden Signale das Maximum aufzusuchen ist, das gerade bei  $\tau = T$  liegt. Die Ermittlung des Maximums läßt sich manuell im Diagramm der Korrelationsfunktion sowie selbsttätig durchführen, indem zunächst die Korrelationsfunktion gebildet wird, d. h. indem das erste Signal  $u_1(t)$  um  $\tau$  verzögert und dann mit dem zweiten Signal  $u_2(t) - u_1(t - T)$  multipliziert wird; von dem Produkt wird in einem Tiefpaß der Mittelwert gebildet. Dann verstellt ein Extremwertregler selbsttätig  $\tau$  so lange, bis sich ein Maximum ergibt. Ein derartiges Lösungsverfahren und die entsprechende Einrichtung sind bereits bekannt. Nachteilig wirkt sich jedoch bei diesen bekannten Verfahren und Einrichtungen der gerätemäßige Aufwand und eine erhebliche Meßzeit aus, die den Anwendungsbereich einschränken.

Das gleiche gilt auch für eine Anordnung, die durch die Zeitschrift Elektronik, 1971, Heft 3, S. 93/94, bekannt wurde, bei der die Informationen des ersten Meßfühlers nach A/D-Wandlung wortweise in ein Schieberegister eingegeben werden und nach Durchlaufen desselben in einer Schleife wieder vorn mittels Umschaltung eingegeben werden; es ist dort ein Multiplikator vorgesehen, der die Informationen des zweiten Meßfühlers nach A/D-Wandlung mit den vom Schieberegister herauskommenden Werten multipliziert und diese dann einer Mittelwertarithmetik mit Mittelwertspeicher zuleitet.

Durch die schweizerische Patentschrift 503 998 ist ein Korrekturkreis für einen analog wirkenden Integrationskreis, der der Regelung der Verzögerung des einen Meßsignals dient, bekannt, der diesen Kreis so beeinflusst, daß das Steuersignal bei niedrigen Geschwindigkeiten mit bestimmt wird. Die Anordnung arbeitet bis auf die Umformung der Regelabweichung in eine Frequenz, die der Verstellung des Verzögerungsgliedes dient, rein analog. Die Anordnung bildet nur die Differenz zwischen den beiden zu vergleichenden Signalen, nicht die für die Korrelation maßgebenden Multiplikationen  $u_1(t - \tau) \cdot u_2(t)$ .

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, mit einer Anordnung zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit eines Objektes mittels zweier in Bewegungsrichtung des Objektes hintereinander angeordneter Meßfühler, die der physikalischen Struktur des Objektes entsprechende, um die Laufzeit  $T$  gegeneinander verschobene, nichtdeterminierte Signale erzeugen und das Signal des ersten Meßfühlers nach dem Korrelationsprinzip in einer den Fühlern nachgeschalteten Auswerteinrichtung durch ein Verzögerungsglied selbsttätig ebenfalls um eine Modell-Laufzeit  $\tau$ , die der Geschwindigkeit des Objektes

umgekehrt proportional ist, so lange verzögert wird, bis die mittlere quadratische Abweichung beider Signale  $\tau - T$  ein Minimum ist, die Ermittlung des Maximum der Korrelationsfunktion beider Signale verfahrens- und gerätetechnisch wesentlich zu vereinfachen und die Zeit für die Meßwertbildung zu verkürzen.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß eines der zu vergleichenden Signale  $u_1(t)$  über einen Begrenzer und dem Verzögerungsglied dem ersten Eingang eines Multiplikationsgliedes zugeführt wird, daß das zweite der zu vergleichenden Signale  $u_2(t) = u_1(t - T)$  über ein Differenzationsglied mit nachfolgendem Begrenzer dem zweiten Eingang des Multiplikationsgliedes zugeführt wird und daß das von dem Multiplikationsglied gebildete Produkt der Signale an seinen beiden Eingängen einem Integralregler (Dreipunktregler mit nachgeschaltetem Integrationsglied) zugeführt wird, wobei das Ausgangssignal des Integrationsgliedes zur Verstellung der Laufzeit  $\tau$  des Verzögerungsgliedes dient.

Vorteilhafterweise wird dabei, aus Gründen einer kürzeren Meßzeit, die Anordnung dadurch ausgestaltet, daß das zweite der zu vergleichenden Signale  $u_2(t)$  zusätzlich über einen weiteren Begrenzer einem Subtraktionsglied zugeführt wird, das zwischen dem Verzögerungsglied und dem ersten Eingang des Multiplikationsgliedes angeordnet ist, und daß in dem Subtraktionsglied die Differenz der Ausgangssignale des Verzögerungsgliedes und des weiteren Begrenzers gebildet und auf den ersten Eingang des Multiplikationsgliedes gegeben wird.

Durch die erfindungsgemäße Lösung läßt sich der Extremwertregler der bekannten Anordnung durch einen einfachen Integralregler ersetzen; dieser übernimmt zugleich die Mittelwertbildung, so daß auch der Tiefpaß eingespart wird. Weiterhin verschwindet durch die vorherige Differenzbildung der Signale bei genauem Abgleich  $\tau = T$  das Produkt und damit die Streuung unabhängig von der Meßzeit, sofern keine weiteren Störsignale auftreten.

Durch die an sich bekannte Quantisierung der zu vergleichenden Signale auf 1 Bit in den Meßühlern nachgeschalteten Begrenzern, z. B. Zweipunktgliedern, erhält man eine um die arc sin-Funktion verzerrte Korrelationsfunktion, die jedoch an denselben Stellen wie  $\phi_{xy}(\tau)$  Nullstellen und Extrema hat. Es ergeben sich dadurch weitere Vereinfachungen. Die veränderliche Laufzeit für ein auf 1 Bit quantisiertes, »binäres« Signal wird durch ein Schieberegister mit veränderlicher Schiebetaktfrequenz  $f_t$  realisiert. Dabei ergibt sich die Laufzeit zu

$$\tau = \frac{n}{f_t}$$

mit  $n$ =Stufenzahl des Schieberegisters. Auch die Multiplikation wird wesentlich einfacher, weil jetzt nur noch die Vorzeichen der Signale miteinander zu multiplizieren sind (Polaritäts-Korrelation). Diese Operation wird mit logischen Schaltern realisiert.

Die Erfindung sei nachstehend an Hand eines in der Figur dargestellten Blockschaltbildes näher erläutert, wobei zugleich weitere, der Ausgestaltung der Erfindung dienende Merkmale aufgezeigt werden.

Als Ausführungsbeispiel sei hier die berührungslose Geschwindigkeitsmessung von Walzgut beschrieben. In der Figur bewegt sich das Walzgut 25 mit

einer Geschwindigkeit  $V$  in Pfeilrichtung. Zwei Meßfühler 10 und 11 sind über dem Walzgut in Bewegungsrichtung im Abstand  $l$  hintereinander angeordnet. Aufgabe der Meßfühler 10 und 11 ist es, das laufende Walzgut an den zwei Meßpunkten optisch abzutasten und die Rauigkeit der Oberfläche in zeitlich statistisch schwankende, elektrische Signale  $u_1(t)$  und  $u_2(t)$  umzuwandeln. Die Signale sollen dabei möglichst identisch und nur um die zwischen den Meßpunkten auftretende Laufzeit  $T$  gegeneinander verschoben sein; die Bandbreite der abgetasteten Signale soll möglichst groß sein, um Meßzeit und statische Fehler des Korrelationsrechners klein zu halten. In den Meßführern nachgeschalteten Begrenzern 12 und 13 werden die Fühlersignale auf die Form  $\text{sgn } u_1(t)$  und  $\text{sgn } u_2(t)$  quantisiert. Das Signal des Meßfühlers 11 wird darüber hinaus durch das Glied 15 differenziert und durch den Begrenzer 14 auf die Form  $\text{sgn } u_2(t)$  gebracht. Der Ausgang des Meßfühlers 10 führt über den Begrenzer 12 auf den Informationseingang eines Schieberegisters 16, das zur Laufzeitverzögerung des Signals  $\text{sgn } u_1(t)$  nach  $\text{sgn } u_1(t - \tau)$  dient.

Die zur Ermittlung des Maximums erforderlichen Subtraktions- und Multiplikationsoperationen werden mit Hilfe einer aus logischen Bausteinen bestehenden Schaltung 17, in der das Subtraktionsglied 18 und das Multiplikationsglied 19 angedeutet ist, durchgeführt. Die Schaltung 17 ist dabei einerseits mit den Ausgängen der Begrenzer 13 und 14 und dem Ausgang des Schieberegisters 16 verbunden sowie führt sie andererseits auf einen Dreipunktregler 20 mit nachgeschaltetem  $I$ -Glied 21. Das analoge Ausgangssignal des  $I$ -Gliedes 21 bildet nach Umformung in einem Spannungsfrequenzwandler 22 die veränderliche Schiebetaktfrequenz  $f_i$  für das Schieberegister 16.

Analoge und digitale Anzeigen sind möglich durch das Meßglied 24 und den Digitalzähler 23.

#### Wirkungsweise

Die Subtraktion und Multiplikation der zu vergleichenden Signale werden gemeinsam in der logischen Schaltung 17 realisiert. Wie in der Figur angedeutet, arbeitet der Korrelator als Dreipunktregler mit nachgeschaltetem  $I$ -Glied, so daß bei Abgleich  $x(t) = 0$  ist; diese Anordnung hat daher noch den gerätetechnischen Vorteil, daß Unsymmetrien der Schaltungsanordnungen sich nicht auf die statische Genauigkeit des Abgleichs auswirken.

Das Aufsuchen der Nullstellung und damit die Selbsteinstellung auf  $\tau = T$  geschieht also mit dem genannten Dreipunkt-Integralregler, der über den Spannungsfrequenzwandler 22 die veränderliche Schiebetaktfrequenz  $f_i$  für das Schieberegister 16 erzeugt. Ein besonderer Vorteil dieser Anordnung liegt darin, daß außer der analogen Meßwertanzeige 24 vor dem Spannungsfrequenzwandler 22 jetzt eine sehr einfache digitale Anzeige möglich ist, indem die Schiebetaktfrequenz  $f_i$  mit einem normalen elektronischen Zähler 23 gemessen und digital angezeigt wird.

Die angezeigte Frequenz ist bei Abgleich auf  $\tau = T$ :

$$f_i = \frac{n}{l} \cdot v$$

also proportional der zu messenden Geschwindigkeit  $V$ .

Wenn man den Digitalzähler 23, der zur Messung der Schiebetaktfrequenz  $f_i$  benützt wird, auf reines Zählen umschaltet, kann man sehr einfach über  $f_i$  integrieren. Damit lassen sich mit derselben Meßeinrichtung beispielsweise Bandlängen messen.

Krasse systematische Fehler entstehen, wenn der Regelkreis sich auf ein Nebenmaximum von  $\Phi_{u1u2}$  einstellt. Solche Nebenmaxima treten auf, wenn entweder die Signale periodische Anteile enthalten oder wenn die Bandbegrenzung in den Meßführern zu steil ist. Die Neigung zum Einstellen auf falsche Extrema wird begünstigt durch Wahl eines großen Abstandes  $l$  und damit einer Verschiebung der Korrelationsfunktion  $\Phi_{u1u2}(\tau)$  um eine große Laufzeit  $T$ . Erfindungsgemäß wird eine Einstellung auf falsche Extrema durch Vorgabe einer geeigneten Anfangsbedingung für den Integralregler vermieden. Dazu ist ein weiterer Meßfühler (in der Figur nicht dargestellt) in Bewegungsrichtung über dem Walzgut angeordnet, dessen Abstand zum Meßfühler 10 kleiner ist als der Abstand  $l$  der Meßfühler 10 und 11. Dieser weitere Meßfühler wirkt zusammen mit dem Meßfühler 10 auf einen zweiten unabhängigen Regelkreis, der die Geschwindigkeit grob mißt und sie dem in der Figur dargestellten Korrelator als Anfangsbedingung vorgibt. Der Korrelator ist umschaltbar auf Messung der Kreuzkorrelationsfunktion (in der Figur nicht dargestellt); hierzu wird der Regelkreis aufgetrennt und der Spannungsfrequenzwandler von außen gesteuert.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen